

В. С. МАЙБОРОДА, І. В. СЛОБОДЯНЮК, Д. Ю. ДЖУЛІЙ, Д. В. ТАРГАН

ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ЯКІСТЬ ШПОНКОВИХ ФРЕЗ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

Досліджено вплив швидкості обертання шпонкових фрез виготовлених з швидкорізальної сталі навколо власної осі в процесі магнітно-абразивного оброблення в робочих зонах кільцевого типу та складу магнітно-абразивного інструменту на показники якості. Встановлено, що збільшення швидкості обертання фрез навколо власної осі в досліджуваному діапазоні призводить до підвищення поверхневої твердості, зменшує інтенсивність формування радіусу округлення різальних кромок та суттєво не впливає на зміну шорсткості робочих поверхонь. Проведено дослідження працездатності шпонкових фрез після циклу магнітно-абразивного оброблення, показано, що відбувається підвищення їх стійкості в 2 і більше рази в порівнянні з необробленими. Встановлено, що найбільше на працездатність впливає величина та форма радіусу округлення різальних кромок та поверхнева твердість різального інструменту.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, шпонкова фреза, твердість, шорсткість, різальна кромка, зношення.

В. С. МАЙБОРОДА, І. В. СЛОБОДЯНЮК, Д. Ю. ДЖУЛІЙ, Д. В. ТАРГАН

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ШПОНОЧНЫХ ФРЕЗ С БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Исследовано влияние скорости вращения шпоночных фрез изготовленных из быстрорежущей стали вокруг собственной оси в процессе магнитно-абразивной обработки в рабочих зонах кольцевого типа и состава магнитно-абразивного инструмента на показатели качества. Установлено, что увеличение скорости вращения фрез вокруг собственной оси в исследуемом диапазоне приводит к повышению поверхностной твердости, уменьшает интенсивность формирования радиуса округления режущих кромок и существенно не влияет на изменение шероховатости рабочих поверхностей. Проведено исследование работоспособности шпоночных фрез после цикла магнитно-абразивной обработки, показано, что имеет место повышение их стойкости в 2 и более раз по сравнению с необработанными. Установлено, что больше всего на работоспособность влияет величина и форма радиуса округления режущих кромок и поверхностная твердость инструмента.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, шпоночная фреза, твердость, шероховатость, режущая кромка, износ.

V. S. MAIBORODA, I. V. SLOBODIANIUK, D. YU. DZHULII, D. V. TARHAN

INFLUENCE OF MAGNETO-ABRASIVE MACHINING ON THE QUALITY KEYWAY MILLS MADE OF HIGH SPEED STEEL

Experimental investigations of influences of magneto-abrasive machining conditions on the quality parameters of keyway mills made of high speed steel were carried out. It was determined that an increasing in angular velocity of mills around its own axis during the machining does not lead to the intensification reducing of roughness parameters and formation radiuses of cutting edge rounding. But it increases the hardness of working surfaces due to the frictional hardening. The best results for hardening were obtained at using powdered with round shape, which provides increasing of hardness to value 10–11,5 GPa at the initial 8–9 GPa, reduction of roughness at using splinter powders with high abrasive ability, which provides value of Ra 0,45 μm at the initial 1,4 μm. By using the method of magneto-abrasive machining can be increased the keyway mills tool life by forming the necessary size of radiuses of cutting edge rounding and increasing of the hardness of the surface layers of the working elements. Experimentally was investigated that at the angular velocity of mills around its own axis 500 rpm and using as magneto-abrasive material the diffuse powder made from PR R6M5 with grain size 160/100 μm the tool life increases in 2–2,3 times.

Keywords: Magneto-abrasive machining, keyway mill, hardness, roughness, cutting edge, wear.

Вступ. В зв'язку з прискоренням темпом розвитку техніки та сучасного автоматизованого виробництва актуальним є підвищення ефективності та надійності технологічного процесу, який визначається експлуатаційними властивостями різального інструменту (РІ).

В значній мірі показники якості інструменту, такі як фізико-механічні властивості поверхневого шару робочих елементів, їх мікрогеометрія, величина та форма округлення різальних кромок (РК) на всіх елементах, що приймають активну участь у різанні, формуються на фінішних етапах виготовлення. Для забезпечення підвищення зазначених характеристик, які в подальшому визначають надійність та працездатний стан РІ традиційно використовують сучасні методи оброблення, що поєднують в собі комплексний вплив енергій різного походження на поверхневий шар виробів. Однак більшість з таких методів є високовартісними та слабкочекльованими і в повній мірі не забезпечують комплексного підвищення параметрів якості. Одним з сучасних

фінішних методів, який інтенсивно розвивається – є магнітно-абразивне оброблення (МАО) в робочих зонах кільцевого типу. Для оброблення деталей складної просторової форми, до яких відноситься РІ, доцільно використовувати робочі зони з кільцевим розташуванням шириною понад 3–5 мм [1]. Характерним для таких схем є те, що сили притискання магнітно-абразивного порошку (МАП) до деталі в основному створюються за рахунок сил динамічного походження при відносних рухах деталі та порошку і, в меншій мірі, за рахунок магнітного поля. В процесі оброблення деталь базується під певним кутом до робочої зони, рухається вздовж неї та обертається навколо власної осі (осі оправки) [2–4]. Тому важливим є визначення впливу швидкості обертання оправки навколо власної осі на підвищення параметрів якості готового інструменту. Попередні дослідження впливу процесу МАО на фінішних етапах виготовлення РІ з різних матеріалів свідчать про перспективність його застосування [1, 3, 5, 6], але в цих роботах не

досліджено вплив кутової швидкості обертання деталей навколо власної осі.

Практично відсутня науково-технічна інформація про вплив даного методу на якість та експлуатаційні властивості шпонкових фрез виготовлених з швидкорізальної сталі з урахуванням кінематичних параметрів процесу.

Метою даної роботи є дослідження впливу магнітно-абразивного оброблення в робочих зонах кільцевого типу на показники якості шпонкових фрез із швидкорізальної сталі.

Матеріал і результати досліджень.

Експериментальні дослідження виконувались на шпонкових фрезах $\varnothing 5,5$ мм з довжиною робочої частини 20 мм виготовлених з інструментальної швидкорізальної сталі – Р9. У вихідному стані шорсткість робочих поверхонь фрез – R_a складала 1,4–1,5 мкм, поверхнева твердість $HV_{200}=8\text{--}8,5$ ГПа. Зовнішній вигляд різальної кромки фрез у вихідному стані наведено на рис. 1. Відзначимо наявність на них задирок і концентраторів напружень у вигляді виривів та сколів.

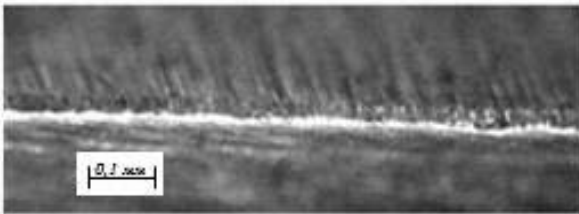


Рис. 1 – Зовнішній вигляд РК шпонкових фрез у вихідному стані

МАО виконували на експериментальному верстаті [3], який забезпечує можливість реверсивного обертання оброблюваного інструменту навколо осі кільцевої ванни з регульованою швидкістю та одночасне обертання навколо власної осі при нахиленому базуванні відносно площини робочої зони. Оброблення фрез виконували при наступних умовах: швидкість руху РІ вздовж кільцевої ванни 2,5 м/с; частота обертання інструменту навколо власної осі – ω_0 варіювалась в діапазоні 100–900 об/хв, величина напруженості магнітного поля в магнітній системі не заповненій МАП складала $H=183$ кА/м; час оброблення – 180 с. Відзначимо, що МАО виконували за умов зміни напрямку руху навколо осі кільцевої ванни [7], а саме в режимі «натікання» магнітно-абразивного інструменту (МАІ) на оброблювану поверхню – час складав 60 с, а в режимі «стікання» – 120 с. Кут базування фрез відносно горизонтальної площини робочої зони – $\rho=35^\circ$. Для відновлення форми МАІ в режимі «стікання», коли основна маса фераабразивного середовища витісняється в нижню частину робочої зони використовували відновлювальний стрижневий елемент (ВСЕ) $\varnothing 10$ мм, кут базування якого складав 40° відносно горизонтальної площини кільцевої ванни [1, 8, 9].

До та після МАО контролювали: шорсткість поверхні на стрічці фрез на удосконаленому профілограф-профілометрі моделі Калібр 296;

поверхневу твердість на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 2 Н; радіус округлення РК оцінювали на інструментальному мікроскопі УІМ-2М за параметром k (рис. 2), який визначали за спрощеною методикою, аналогічною методу, наведеному в [10] та підходом до вимірювань, які реалізовані на вимірювальному комплексі MicroCAD [11].

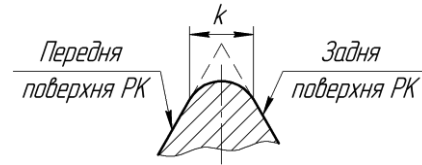


Рис. 2 – Схема визначення параметра k

Зовнішній вигляд РК шпонкових фрез після МАО представлено на рис. 3. В результаті проведення експериментальних досліджень показано, що на робочих поверхнях фрез знижується шорсткість і видаляється регулярний мікрорельєф, а з РК видаляються задирки та заусенці, формується рівномірна та гладка поверхня без істотних концентраторів напружень.

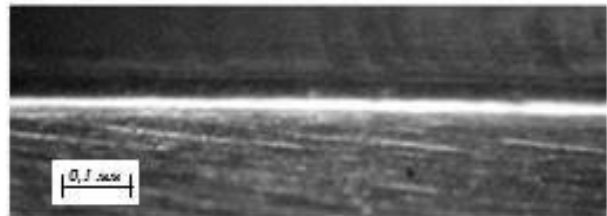


Рис. 3 – Зовнішній вигляд РК шпонкових фрез після МАО

На першому етапі виконували дослідження впливу швидкості обертання фрези навколо власної осі – ω_0 , яка складала 100 об/хв, 500 об/хв, 900 об/хв в процесі МАО на зміну шорсткості робочих поверхонь, поверхневу твердість, величину округлення РК. Для формування МАІ використовували магнітно-абразивний порошок Феромап зернистістю 200/100 мкм з додаванням мастильно-охолоджуючого технологічного середовища (МОТС) марки Асфол [1, 12, 13]. Результати впливу швидкості обертання фрез навколо власної осі на показники якості представлено на рис. 4.

Показано, що при збільшенні частоти обертання інструменту навколо власної – ω_0 до 900 об/хв відбувається більш інтенсивний процес зміцнення поверхневого шару (див. рис. 4, а), що може бути пов'язано з переважною фрикційною взаємодією МАІ з оброблюваними поверхнями.

Зміна величини ω_0 в зазначеному діапазоні не призводить до суттєвої інтенсифікації процесу полірування робочих поверхонь фрез, незважаючи на збільшення шляху оброблення (див. рис. 4, б). Розрахунки виконані за методиками, наведеними в [6, 11] показують що саме співвідношення швидкості обертання РІ навколо власної осі – ω_0 до швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни – ω_6 при $\omega_0=500$ об/хв є найбільш оптимальним для даного розміру та типу фрез. Отримані дані свідчать, що при

використанні в процесі оброблення зазначеного вище типу порошку саме тангенціальна складова швидкості МАО – V_t , що визначає умови взаємодії та тертя між МАІ та оброблюваними поверхнями і відіграє важливу роль в процесі зміцнення поверхневого шару робочих елементів.

Показано, що при швидкості обертання РІ навколо власної осі 100 та 500 об/хв в процесі МАО відбувається збільшення параметру k , який характеризує величину притуплення РК на 16,5–17,5 мкм, в той час як при $\omega_0=900$ об/хв лише на 5 мкм (див. рис. 4, в).

Зменшення величини радіусу округлення РК при підвищених значеннях ω_0 може бути пов'язано або з умовами більш інтенсивного оброблення задньої поверхні фрез і сприятливими умовами формування форми кромки, або з особливостями формування та руйнування окремих структурних елементів МАІ безпосередньо в процесі контакту з РК фрез при МАО [1, 14].

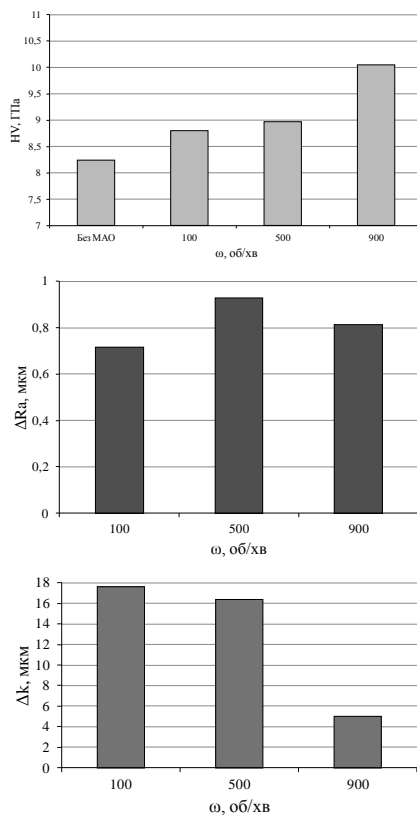


Рис. 4 – Вплив швидкості обертання шпонкових фрез навколо власної осі в процесі МАО на:
а – поверхневу твердість; б – шорсткість поверхні;
в – параметр k

Другий етап досліджень процесу МАО виконували при швидкості обертання шпонкових фрез навколо власної осі 500 об/хв. Досліджували вплив складу МАІ на параметри їх якості. Оброблення виконували інструментом сформованим з наступних МАП: Феромап з розміром частинок 200/100 мкм, S330 – 1200/900 мкм, ПР Р6М5 – 160/100 мкм, Царамам – 315/200 мкм та сумішню порошків Полімам М –

315/200 мкм з додаванням 5% порошку Феромап 160/100 мкм [1, 5].

Після циклу МАО шпонкових фрез різними типами МАП контролювали величину зміни шорсткості робочих поверхонь – ΔRa , параметра k – Δk та величину поверхневої твердості – HV . Отримані результати представлено на рис. 5.

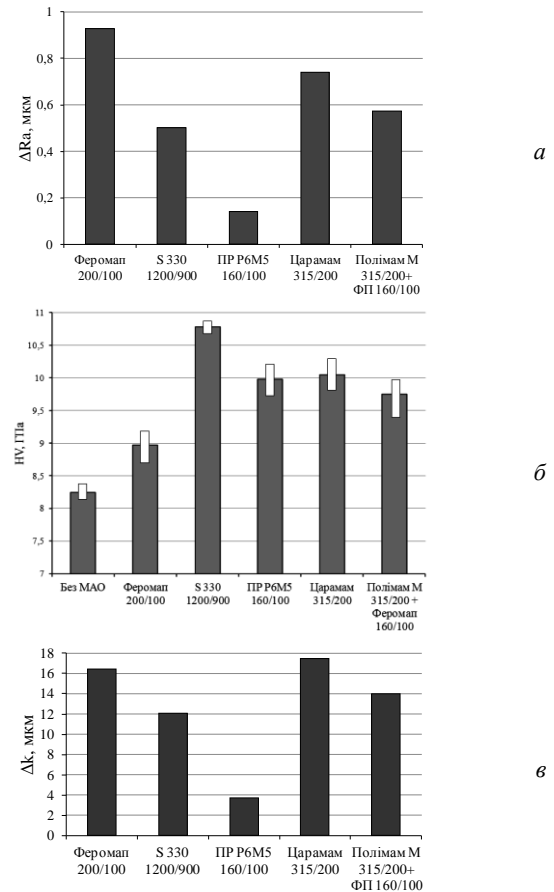


Рис. 5 – Вплив складу МАІ в процесі МАО шпонкових фрез на: а – шорсткість поверхні;
б – поверхневу твердість; в – параметр k

Встановлено, що використання осколкових рівновісних типів порошків – Феромап 200/100 мкм та округлих нерівновісних – Царамам 315/200 мкм для формування МАІ забезпечують кращу полірувальну та абразивну здатність (див. рис. 5, а та рис. 5, в) в порівнянні з іншими. Це пояснюється мікрогеометричними характеристиками частинок МАІ із зазначених порошкових матеріалів [1], а саме величиною округлення мікрорізальних кромки окремих частинок.

Найбільший вплив на формування радіусу округлення РК має МАІ який сформований з нерівновісного порошку Царамам 315/200 мкм (див. рис. 5, в), що пояснюється його підвищеною абразивною здатністю [3].

Найкращі показники по зміцнювальному обробленню притаманні МАІ, який сформовано з округлих рівновісних порошків S330 – 1200/900 мкм та ПР Р6М5 – 160/100 мкм (див. рис. 5, б), так як вони мають практично сферичну форму зерен, а їхня

абразивна здатність незначна і процес оброблення відбувається за рахунок ударно-фрикційної взаємодії з оброблюваними поверхнями, яка сприяє пластичному деформуванню мікронерівностей та тонкого поверхневого шару [1].

Дослідження експлуатаційних властивостей шпонкових фрез до та після MAO виконували при фрезеруванні відкритих пазів у плиті, виготовленій зі Сталі 45 при частоті обертання фрез – 710 об/хв, подачі – 15 мм/хв, подачі на зуб – 0,01 мм/зуб, глибина фрезерування – 2 мм без застосування МОТС. Величину зношення контролювали на інструментальному мікроскопі при вершині зуба на стрічці. Критичне зношення вибрано за [15] та складає 0,3 мм.

При порівнянні працездатності фрез, які оброблялися магнітно-абразивним методом при різних швидкостях обертання навколо власної осі з необробленими встановлено, що до величини критичного зношення такий інструмент працює на 15–20 хв довше (див. рис. 6, а), що складає 100–130 % підвищення стійкості.

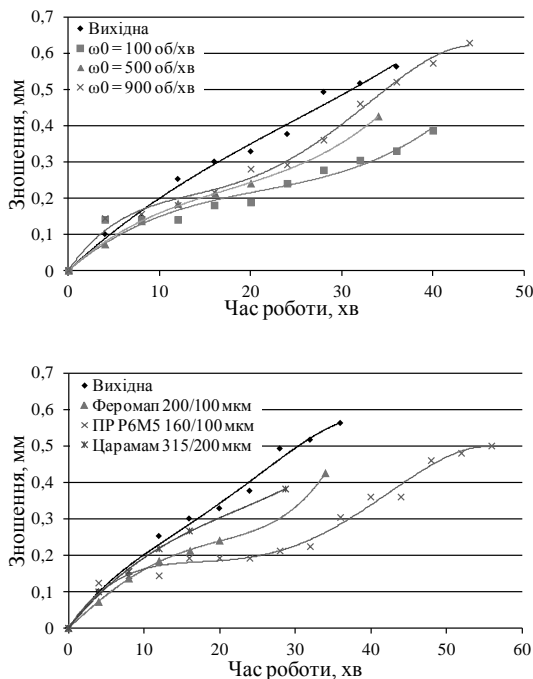


Рис. 6 – Криві зношення шпонкових фрез в залежності від часу роботи

Встановлено, що найкращий працездатний стан у шпонкових фрез після MAO округлим типом порошку PR P6M5 зернистістю 160/100 мкм, так як він забезпечує утворення шорсткості робочих поверхонь на рівні $Ra=0,18$ мкм, сприятливої мікрогеометрії РК притуплюючи їх на 4 мкм та збільшує мікротвердість до 9,9 ГПа. При такому стані фрез їх час роботи збільшується на 20 хв в порівнянні з необробленими.

Отримані результати показують, що при заданих режимах різання на стійкість РІ найбільший вплив має величина та форма радіусу округлення РК, адже при його збільшенні зменшується товщина шару матеріалу, який зрізується, що призводить до його зминання в

результаті чого відбувається більш інтенсивно процес зношення задньої поверхні. Для уникнення цього ефекту необхідно провести ряд досліджень по визначенню оптимальних режимів різання для РІ з заданою величиною округлення РК.

Висновки. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що змінюючи умови MAO шпонкових фрез з швидкорізальної сталі, такі як кінематика процесу, тип, форма і розміри МАП, можна контролювано впливати на формування відповідних параметрів якості. Встановлено, що найбільша полірувальна здатність притаманна МАІ, сформованому з рівновісного осколкового порошку Феромап 200/100 мкм, а зміцнювальне оброблення – МАІ, який сформовано з округлого сферичного порошку S330 1200/900 мкм. При раціональних умовах MAO можна підвищити стійкість шпонкових фрез в 2–2,3 рази, що матиме значний економічний ефект та зменшення часу оброблення деталей при використанні підготовленого різального інструменту.

Список літератури

1. Майборода В. С., Слободянюк І. В., Джулий Д. Ю. *Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы*. Житомир: ПП «Рута», 2017. 272 с.
2. Гейчук В. М. *Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01*. Київ, 2012. 472 с.
3. Майборода В. С. *Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01*. Київ, 2001. 404 с.
4. Ткачук І. В. *Формування магнітно-абразивного інструменту зі стабільними властивостями в робочих зазорах кільцевого типу: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01*. Київ, 2015. 164 с.
5. Byelayev O. *Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung: Phd-Thesis*, Otto von Guericke. Magdeburg, Germany, 2008. 150 p.
6. Klimov O. *Magnet-Abrasive-Bearbeitung von Werkzeuge aus WC-Hartmetall. Phd-Thesis*, Otto von Guericke. – Magdeburg, Germany, 2014. – 159 p.
7. Maiboroda V., Karpuschewski B., Klymov O. *Analyse von Prozessbedingungen auf der Werkzeugschneidkanten während der magnetabrasiven Bearbeitung von Schaftfräsern aus Hartmetall mit ihren positionierungen in Ringförmigen Arbeitszonen. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство*. Донецьк, ДонНТУ, 2013. Випуск 1(10). С. 28–35.
8. Майборода В. С., Гейчук В. М., Джулий Д. Ю., Ткачук І. В. Пат. 104328 Україна. *Спосіб магнітно-абразивного оброблення*. 2014.
9. Джулий Д. Ю., Майборода В. С., Ткачук І. В., Гейчук В. М. *Формування магнітно-абразивного інструменту при магнітно-абразивному обробленні довгомірних деталей у кільцевій робочій зоні. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Збірник наук. праць. ЖДТУ*. Житомир, 2011. Вип. 11. С. 92–107.
10. Криворучко Д. В., Залога В. О. Пат. 45759, Україна. *Спосіб вимірювання малого радіуса сполучення площин*, 2002.
11. Джулий Д. Ю. *Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01*. Київ, 2014. 175 с.
12. Олиker В. Е. *Порошки для магнітно-абразивной обработки и износостойких покрытий*. Москва: Металлургия, 1990. 176 с.
13. Барон Ю. М. *Магнітно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов*. Ленинград: Машиностроение, 1986. 176 с.
14. Степанов О. В. *Исследование процесса формирования магнітно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей*

сложной геометрической формы: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06. Киев, 1997. 158 с.

15. Внуков Ю. М., Залог В. О. *Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник*. Суми: СумДУ, 2010. 243 с.

References (transliterated)

1. Maiboroda V. S., Slobodianuk I. V., Dzhulii D. Yu. *Magnitno-abrazivnaya obrabotka detaley slozhnoy formy* [Magneto-abrasive machining of parts with complex shape]. Zhytomyr: PP "Ruta" Publ., 2017. 272 p.
2. Geichuk V. M. *Syntezy kinematyky protsesu magnitno-abrazivnoyi obrobky v kil'tseviy vanni: dis. ... d-ra. tekhn. nauk 05.03.01* [Synthesis of kinematics of the process of magnetic-abrasive machining in the ring bath. Dr. eng. sci. diss.]. Kiev, 2012. 472 p.
3. Maiboroda V. S. *Osnovy stvorenniya i vykorystannya poroshkovoho magnitno-abrazivnoho instrumentu dlya finishnoyi obrobky fazonnykh poverkhon': dis. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.03.01* [Basics of creating and using powder magnetic abrasive tool for finishing shaped surfaces. Dr. eng. sci. diss.]. Kiev, 2001. 404 p.
4. Tkachuk I. V. *Formuvannya magnitno-abrazivnoho instrumentu zi stabil'nymi vlastyvostyamy v robochykh zazorakh kil'tsevoho typu: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.03.01*. [Formation of magneto-abrasive tool with stable properties in the ring-type working gaps. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kiev, 2015. 164 p.
5. Byelyayev O. *Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung: Phd-Thesis*, Otto von Guericke, Magdeburg, Germany, 2008. 150 p.
6. Klimov O. *Magnet-Abrasive-Bearbeitung von Werkzeugen aus WC-Hartmetall. Phd-Thesis*, Otto von Guericke. – Magdeburg, Germany, 2014. – 159 p.
7. Maiboroda V., Karpuschewski B., Klymov O. *Analyse von Prozessbedingungen auf der Werkzeugschneidkanten während der magnetabrasiven Bearbeitung von Schaftfräsern aus Hartmetall mit ihren positionierungen in Ringförmigen Arbeitszonen. Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series: Engineering and Mechanical Engineering*. Donetsk, Vol. 1 (10), pp. 28 – 35.
8. Maiboroda V. S., Geichuk V. M., Dzhulii D. Yu., Tkachuk I. V. *Sposib mahnitno-abrazivnoho obroblennya* [Method of magnetic abrasive machining]. Patent UA, no. 104328, 2014/
9. Dzhulii D. Yu., Maiboroda V. S., Tkachuk I. V., Geichuk V. M. *Formuvannya mahnitno-abrazivnoho instrumentu pry mahnitno-abrazivnomu obroblenni dovmirnykh detaley u kil'tseviy robochiy zoni* [Formation of magnetic-abrasive tool for magnetic-abrasive finishing of long-measuring parts in a ring-type working area]. *The processes of mechanical processing in machine building*. Zhytomyr State Technological University. Zhytomyr, 2011 vol. 11, pp. 92–107.
10. Kryvoruchko D. V., Zaloha V. O. *Sposib vymiryuvannya maloho radiusa spoluchennya ploshchyn* [Method of measuring a small radius of conjugation of the planes of the object]. Patent UA, no. 45759, 2002.
11. Dzhulii D. Yu. *Pidvyshchennya yakosti bahatohrannykh neperetochuvanykh tverdospalvnykh plastyn pry mahnitno-abrazivnomu obroblenni v kil'tseviy vanni: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.03.01*. [Increasing quality of multisided not sharpened hard-alloy plates by using magneto-abrasive machining in ring-type working area. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kiev, 2014. 175 p.
12. Oliker V. E. *Poroshki dlya magnitno-abrazivnoyi obrabotki i iznosostoykikh pokrytyy* [Powders for magnetic-abrasive machining and wear-resistant coatings]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 176 p.
13. Baron Yu. M. *Magnitno-abrazivnaya i magnitnaya obrabotka izdeliy i rezhushchikh instrumentov* [Magnetic-abrasive and magnetic machining of products and cutting tools]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1986. 176.
14. Stepanov O. V. *Issledovaniye protsessa formirovaniya magnitno-abrazivnogo poroshkovogo instrumenta dlya obrabotki detaley slozhnoy geometricheskoj formy: dis. ... kand. tekhn. nauk 05.16.06*. [Study of the formation process magnetic-abrasive powder tools for processing details of complex geometric form. Candidate eng. sci. diss.]. Kiev, 1997. 158 p.
15. Vnykov Yu. M., Zaloha Viliam O. *Znoshuvannya i stijkist rizalnykh lezovykh instrumentiv* [Wear and durability of cutting tools]. Sumy SumDU Publ., 2010. 243 p.

Надійшла (received) 05.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Майборода Віктор Станіславович (Майборода Виктор Станиславович, Maiboroda Viktor Stanislavovich)

– доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.ua/citations?user=ZKl4ByQAAAAJ&hl=uk>; e-mail: maiborodavs@gmail.com

Слободянюк Іванна Валентинівна (Слободянюк Иванна Валентиновна, Slobodianuk Ivanna Valentynivna) – кандидат технічних наук, асистент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0226-2691>; e-mail: ivannavalentinovna@gmail.com

Джулій Дмитро Юрійович (Джулий Дмитрий Юрьевич, Dzhulii Dmytro Yuriyovich) – кандидат технічних наук, асистент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8863-626X>; e-mail: dmytro.dzhulii@gmail.com

Тарган Дмитро Валентинович (Тарган Дмитрий Валентинович, Tarhan Dmytro Valentynovich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: tarakan.com@ukr.net